

УДК 621.313

## **ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ ДВИГАТЕЛЯ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ**

**В.В. Наний**, доцент, канд. техн. наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

e-mail: v.naniy@mail.ru, тел. +3(098) 824 65 59

**А.М. Масленников**, ассистент, канд. техн. наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

e-mail: x-maslennikov@yandex.ru, тел. +3(066) 780 97 83

**А.В. Егоров**, ассистент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

e-mail: toe@mail.ru, тел. +3 (098) 851 84 94

**А.А. Дунев**, ассистент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» г. Харьков, Украина

e-mail: lex\_from\_kharkov@mail.ru, тел. +3(096) 909 11 04

Рассмотрено влияние формы импульса питающего напряжения на распределение магнитной индукции в воздушном зазоре двигателя с катящимся ротором и его вращающий момент при дискретном импульсном питании катушек обмотки статора. Сформированы требования к форме импульса питающего напряжения.

*Ключевые слова:* ротор, одностороннее магнитное притяжение, магнитная индукция.

## **INFLUENCE OF FORMS SUPPLY PULSE FOR TORQUE IN THE ROLLING-ROTOR ENGINE**

**V.V. Nanii**, associate professor, Ph.D., National technical university «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine

e-mail: v.naniy@mail.ru, tel. +3(098) 824 65 59

**A.M. Masliennikov**, assistant, Ph.D., National technical university «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine

e-mail: x-maslennikov@yandex.ru, tel. +3(066) 780 97 83

**A.V. Egorov**, assistant, National technical university «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine

e-mail: toe@mail.ru, tel. +3 (098) 851 84 94

**A.A. Dunev**, assistant, National technical university «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine

e-mail: lex\_from\_kharkov@mail.ru, tel. +3(096) 909 11 04

The influence of the shape of the pulse voltage on the spreading of magnetic induction in the air gap of the rolling-rotor engine and torque at discrete pulse supply coils of the stator winding. Recommendations formed to the shape of the pulse voltage.

*Keywords:* rotor-sided magnetic attraction, magnetic induction.

Двигатель с катящимся ротором (ДКР) это высокомоментные безредукторные электродвигатели, способные заменить часть редукторного электропривода. Принцип действия этого типа синхронных реактивных электродвигателей реализуется через создание силы одностороннего магнитного притяжения (СОМП) и механического взаимодействия между ротором и статором.

Создание СОМП возможно благодаря эксцентричному расположению ротора в расточке статора и, как следствие, несимметричному воздушному зазору через который проходят силовые магнитные линии, созданные током обмотки статора. В зависимости от способов создания СОМП ДКР делятся на ДКР с вращающимся магнитным полем и униполярным подмагничиванием, ДКР с

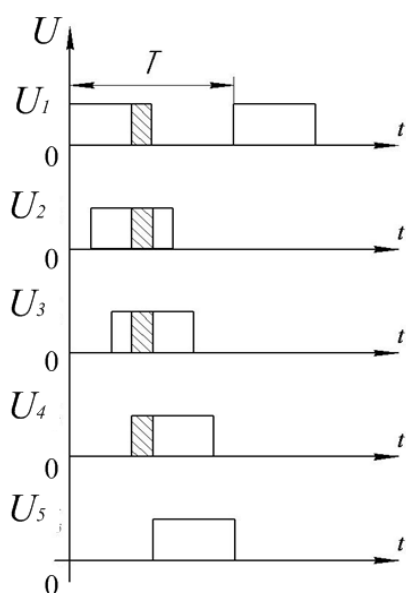


Рисунок 1 – Униполярные импульсы питающего напряжения в ДКР

пульсирующим магнитным полем, ДКР с дискретным магнитным полем [1]. Первые два типа ДКР работают от трехфазной сети переменного напряжения, а третий – от системы управления, которая формирует импульсы необходимой формы, частоты, последовательности.

Для создания СОМП в ДКР с дискретным магнитным полем необходимо сформировать униполярные импульсы напряжения, позволяющие поочередно коммутировать сосредоточенные катушки обмотки статора (рис.1).

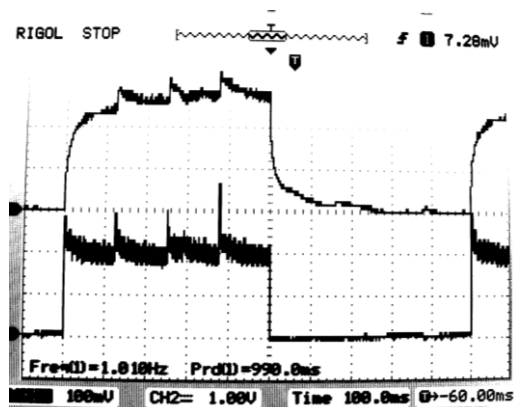


Рисунок 2 – Осциллограммы  
напряжения и тока

При прямоугольной форме импульса напряжения форма тока, протекающего по катушке, имеет экспоненциальный характер, что вызвано переходным процессом в катушке статора (рис. 2). Время протекания переходного процесса в катушке зависит от ее индуктивности и активного сопротивления [2]. Таким образом, движение ротора по

окружности статора возможно до тех пор, пока действующее значение тока создает необходимое значение МДС  $F$  и магнитной индукции в воздушном зазоре  $B_\delta$  двигателя для возникновения СОМП и перемещения ротора.

Преодолевая момент инерции и момент сопротивления на валу ротор перемещается между точками равновесия. Изменение частоты подачи импульсов питающего напряжения прямо пропорционально влияет на частоту вращения ротора, но при этом длительность переходного процесса остается постоянной. Поэтому, при увеличении частоты, ток не достигает установившегося значения в катушке и отключается системой управления, что приводит к потере шага и выпадению из синхронизма.

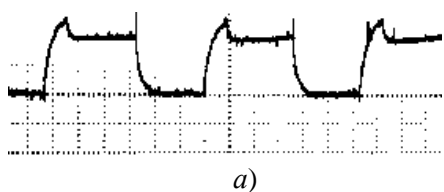
Анализ процесса коммутации токов в катушках обмотки статора ДКР с дискретным магнитным полем позволил сформировать необходимые требования к форме импульса питающего напряжения:

- передний фронт должен иметь амплитуду превышающую номинальную;
- задний фронт должен иметь значение напряжения обратной полярности.

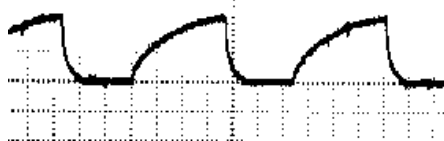


Рисунок 3 – Осциллограмма форсированного импульса напряжения

питающего напряжения и создана система управления, позволяющая форсировать работу ДКР с дискретным магнитным полем (рис. 3).



а)



б)

Рисунок 4 – Осциллограмма тока

а – при форсированном импульсе напряжения;

б – при прямоугольном

Первое требование позволяет форсировать переходной процесс в катушке, второе – позволяет вовремя отключить катушку и убрать затягивание заднего фронта импульса тока, который создает паразитные тормозные моменты. Исходя из этих требований смоделирован импульс

Полученная форма импульса питающего напряжения влияет на форму импульса тока и, как следствие, на распределение магнитной индукции в воздушном зазоре (рис. 4, 5).

На рис. 4 представлены импульсы тока при частоте 5 Гц. Представленные импульсы тока демонстрируют форсирование переходного процесса в катушке, что позволило увеличить длительность работы установившегося значения тока и расширить пределы частоты вращения ДКР с дискретным магнитным полем при номинальном вращающем моменте на валу.

Форма импульса тока напрямую влияет на МДС  $F_\delta$  и распределение магнитной индукции в воздушном зазоре двигателя [3]:

$$B_\delta = \frac{F_\delta}{\delta} \mu_0$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;

$\delta$  – длина воздушного зазора;

Вращающий момент на валу ДКР зависит от распределения магнитной индукции в воздушном зазоре и габаритных размеров двигателя [4]:

$$M_{em} = 0,5 \cdot \frac{B_{\delta}^2 \cdot S}{\mu_0} \cdot d_r,$$

где  $B_{\delta}$  – значение магнитной индукции в воздушном зазоре;

$S$  – площадь поверхности, через которую проходит основной магнитный поток;

$d_r$  – диаметр ротора.

Анализ магнитной системы ДКР с дискретным магнитным полем в программе FEMM позволяет построить зависимость распределения магнитной индукции в воздушном зазоре при различных действующих токах в обмотке статора (рис.5) [5].

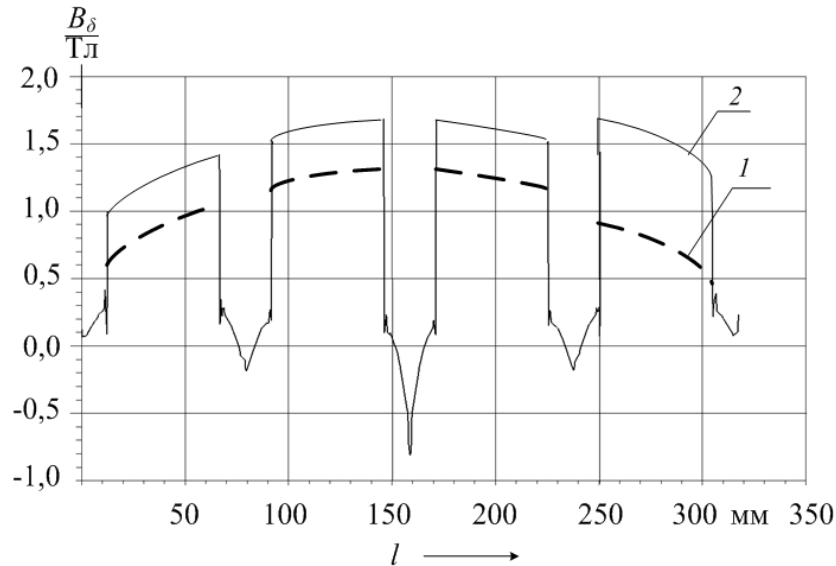


Рисунок 5 – Распределение магнитной индукции по длине окружности статора

1 – при прямоугольном импульсе напряжения;

2 – при форсированном импульсе напряжения.

При этом необходимо задаться значением МДС обмотки статора, которая зависит от числа витков катушки и тока обмотки статора. В каждом из расчетов распределения магнитной индукции значение тока в катушке обмотки статора берется среднего значения за длительность импульса.

Из рис. 5 видно, что происходит общее увеличение магнитной индукции на 0,4 Тл благодаря увеличению времени работы установившегося значения тока. Использование импульса питающего напряжения представленного на рис. 3 позволяет регулировать амплитуду переднего фронта импульса тока и тем самым получить максимальное значение магнитной индукции на первой включаемой катушке статора. Это приводит к увеличению СОМП и вращающего момента на валу ДКР в 1,7 раза.

#### **Вывод.**

Форсирование работы ДКР импульсами питающего напряжения с крутонарастающим передним фронтом позволяет расширить зону устойчивой работы, максимально использовать магнитную систему и, как следствие, улучшить массогабаритные показатели двигателя.

#### **Список литературы:**

1. Борзяк Ю.Г. Электродвигатели с катящимся ротором / Борзяк Ю.Г., Зайков М.А., Наний В.П. – К.: Техніка, 1982. – 120 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1996. – 623 с.
3. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля / Говорков В.А. – М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1960. – 463 с.
4. Бертинов. А.И. Электрические машины с катящимся ротором / Бертинов А.И., Варлей В.В. – М.: Энергия, 1969. – 200 с.
5. User's Manual. Finite Element Method Magnetics Version 4.2. [Электронный ресурс] / David Meeker // Режим доступа: [http:// www.femm.info/Archives/doc/manual 42.pdf](http://www.femm.info/Archives/doc/manual 42.pdf).